



MINISTÈRES
ÉDUCATION
JEUNESSE
SPORTS
ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
RECHERCHE

Liberté
Égalité
Fraternité

Académie de Grenoble

LYCEE DES METIERS LA PLÉIADE

Pont de Cheruy

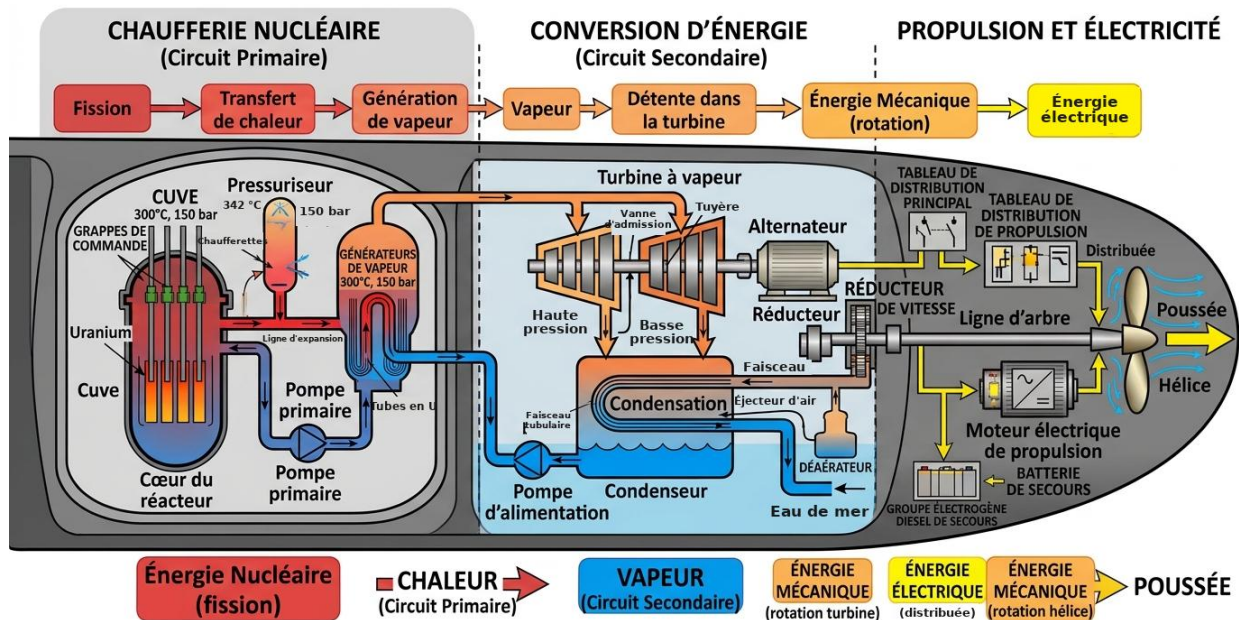


Cahier des charges

Programme Barracuda : système de propulsion
du sous-marin nucléaire d'attaque Suffren

Terminale AC – ITEC – EE

Propulsion nucléaire d'un sous-marin d'attaque — principe de fonctionnement



CDC

03

CHAPITRE 04 · CAHIER DES CHARGES

Programme Barracuda

SNA type Suffren · objet, contexte, exigences, données d'entrée, bride d'accouplement

OBJET DU DOCUMENT

À quoi sert ce cahier des charges ?

Ce cahier des charges décrit le **système de propulsion** du sous-marin nucléaire d'attaque Suffren et fixe les **exigences chiffrées** qu'il doit respecter. Il est rédigé sur le modèle des notes techniques d'un vrai programme d'armement : fiches de suivi, documents applicables, abréviations, définitions, tableau de justification des conformités, hypothèses et données d'entrée.

Il sert de **ressource unique** au TP 04 : la partie 1 (devoir maison) justifie les exigences par le calcul, la partie 2 (atelier SolidWorks) modélise la bride d'accouplement définie au § 9.

HISTORIQUE DES ÉVOLUTIONS

VERSION	DATE	RÉDACTEUR	VÉRIFICATEUR	APPROBATEUR	OBSERVATIONS
A	21/10/2026	F. ARIOUA	Élève	Équipe STI2D	Édition initiale

COLLÈGE DE RÉDACTEURS - VÉRIFICATEURS

RÔLE	NOM	FONCTION	DATE / VISA
Rédacteur	F. ARIOUA	Enseignant STI2D — Lycée La Pléiade	21/10/2026
Vérificateur	Votre nom et prénom	Élève de terminale STI2D	Date

CIRCUIT DE SURVEILLANCE

RÔLE	ENTITÉ	NOM	FONCTION	DATE / VISA
Surveillance	Équipe pédagogique STI2D	F. ARIOUA	Enseignant STI2D — Lycée La Pléiade	
Avis				

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

ÉDITION	PAGE	PARAGRAPHE	DESCRIPTION DE LA MODIFICATION	OBSERVATIONS
A	—	—	Version initiale	—

DOCUMENTS ABROGÉS PAR LA PRÉSENTE RÉVISION

RÉFÉRENCE	DATE	OBJET
Sans objet	—	—

SOMMAIRE

§	CONTENU
1	Objet du document : généralités, objet
2	Contexte : programme Barracuda, acteurs, zone géographique, caractéristiques du Suffren
3	Documents applicables, documents de référence, données d'entrée
4	Abréviations
5	Définitions
6	Justification des conformités du système de propulsion (tableau des exigences)
7	Hypothèses et données d'entrée : modes, environnement, architecture, données techniques
8	Application du calcul : méthodologie, démarche, formulaire
9	Conclusion : dispositions constructives et plan de la bride d'accouplement, livrables

RÉFÉRENCES

Données publiques et données pédagogiques

- Les caractéristiques réelles des sous-marins nucléaires sont couvertes par le **secret de la défense nationale**.
- Les données du § 2 (programme, calendrier, acteurs, caractéristiques générales) sont des **informations publiques** : ministère des Armées (fiche « SNA Suffren », dossier de presse du lancement, communiqués de réception), Naval Group, Naval News.
- Les données chiffrées des § 7.2 et § 9 sont des **données pédagogiques** : simplifiées, cohérentes entre elles et réalistes en ordre de grandeur, elles ne décrivent pas le navire réel.

§ 1

Objet du document

► 1.1 Généralités

Les six sous-marins nucléaires d'attaque (SNA) de type **Rubis**, entrés en service entre 1983 et 1993, sont remplacés par six SNA de type **Suffren**. Ce renouvellement constitue le **programme Barracuda**, conduit par la Direction générale de l'armement (**DGA**) en partenariat avec le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (**CEA**) pour la partie nucléaire. **Naval Group** est maître d'œuvre du sous-marin et **TechnicAtome** de la chaufferie nucléaire.

Les sous-marins sont basés à Toulon. Leur accueil a nécessité l'adaptation des infrastructures de la base navale (opération « Accueil et soutien Barracuda »). Le présent document s'intéresse, lui, au navire : il décrit le **système de propulsion** qui transforme l'énergie nucléaire en mouvement.

► 1.2 Objet du document

Le présent cahier des charges est le document de référence du TP 03 de terminale STI2D. Il a pour but de :

- présenter le contexte du programme Barracuda et les caractéristiques publiques du SNA Suffren ;
- formuler les **exigences** applicables au système de propulsion et fournir le **tableau de justification des conformités** (§ 6) ;
- présenter les **hypothèses et données d'entrée** : modes de fonctionnement, architecture de la chaîne d'énergie, données techniques (§ 7) ;
- décrire la **méthode de calcul** à appliquer dans le devoir maison (§ 8) ;
- définir les **dispositions constructives** de la bride d'accouplement à modéliser sous SolidWorks (§ 9).

§ 2

Contexte

► 2.1 Le programme Barracuda

Un SNA est un sous-marin à propulsion nucléaire dont l'armement est classique (torpilles F21, missiles antinavires Exocet SM39, missiles de croisière navals MdCN). Ses missions : protéger les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE) et le groupe aéronaval, recueillir du renseignement, lutter contre les sous-marins et navires adverses, frapper vers la terre et mettre en œuvre les forces spéciales.

CALENDRIER DES LIVRAISONS

SOUS-MARIN	ÉTAPE	DATE
Suffren	Livraison à la Marine nationale	Novembre 2020
Duguay-Trouin	Réception par la DGA (Brest)	28 juillet 2023
Tourville	Réception par la DGA (Brest)	16 novembre 2024
De Grasse, Rubis, Casabianca	Livraisons prévues par la loi de programmation militaire 2024-2030	jusqu'en 2030

► 2.2 Les acteurs du programme

ACTEUR	RÔLE
Marine nationale	Utilisateur : exprime le besoin opérationnel et met en œuvre les sous-marins.
DGA	Maîtrise d'ouvrage : conduit le programme, réceptionne les sous-marins.
CEA	Partenaire de la DGA pour les chaufferies nucléaires de propulsion.
Naval Group	Maître d'œuvre d'ensemble : conception et construction du sous-marin (Cherbourg).
TechnicAtome	Maître d'œuvre de la chaufferie nucléaire (réacteur à eau pressurisée).

► 2.3 Zone géographique

Les SNA sont basés à la **base navale de Toulon** (Var). Dans la zone Missiessy, le **quai Ouest**, long de 415 m, a été adapté pour assurer l'approvisionnement et le soutien à terre des SNA de type Rubis puis Suffren (postes 501 à 503). Les sous-marins y reçoivent l'énergie électrique, les fluides et les moyens de manutention nécessaires à leur entretien.

► 2.4 Caractéristiques générales du SNA Suffren (données publiques)

CARACTÉRISTIQUE	SNA TYPE RUBIS	SNA TYPE SUFFREN
Longueur / diamètre	≈ 74 m / 7,6 m	99 m / 8,8 m
Déplacement surface / plongée	≈ 2 400 t / 2 600 t	≈ 4 600 t / 5 300 t
Équipage	≈ 70 marins	63 marins
Vitesse maximale en plongée	plus de 25 nœuds	plus de 25 nœuds
Immersion	plus de 300 m	plus de 350 m
Chaufferie	réacteur à eau pressurisée K48	réacteur à eau pressurisée dérivé de la K15 (≈ 150 MW thermiques)
Production électrique	turbo-alternateurs	2 turbo-alternateurs (≈ 10 MW chacun)
Propulsion	turbo-électrique, hélice	hybride (turbo-mécanique + électrique), pompe-hélice
Durée de vie du cœur	≈ 5 ans	≈ 10 ans entre deux rechargements

CARACTÉRISTIQUE	SNA TYPE RUBIS	SNA TYPE SUFFREN
Disponibilité	—	plus de 270 jours par an

Sources : ministère des Armées, Naval Group, Naval News. Valeurs arrondies.

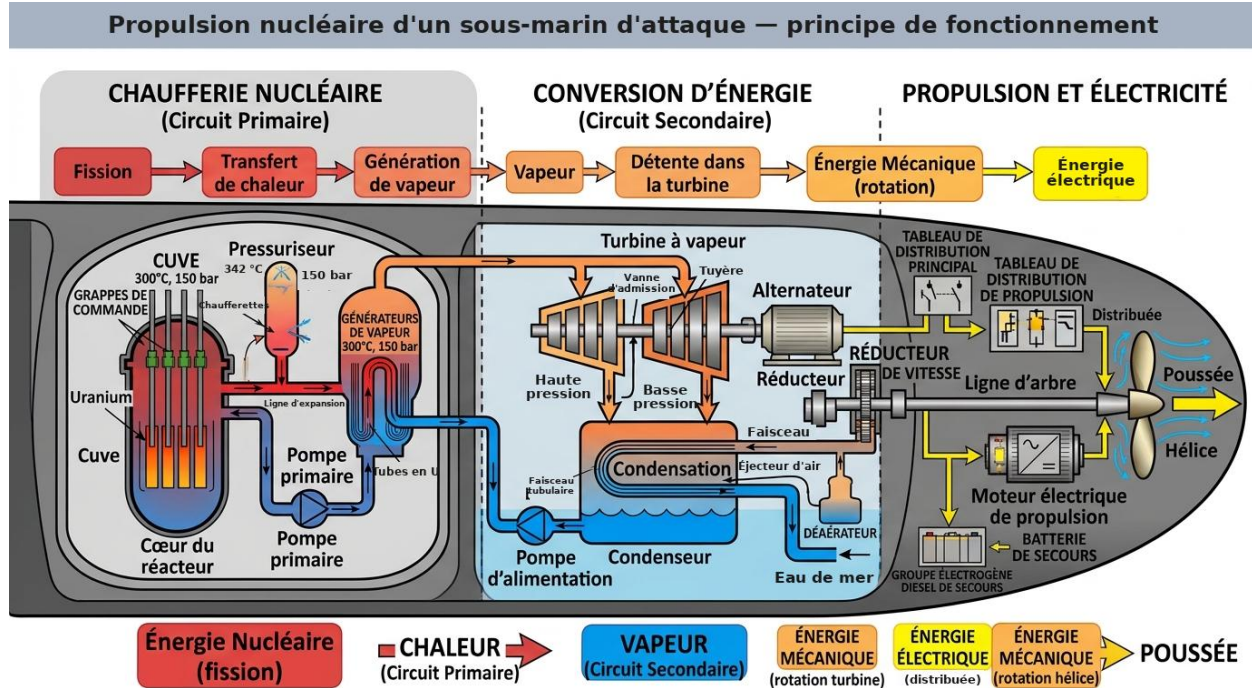


Fig. 1 Principe de la propulsion nucléaire d'un SNA : chaufferie (circuit primaire), conversion d'énergie (circuit secondaire), propulsion et électricité. Schéma de principe sans échelle.

§ 3

Documents applicables et de référence

► 3.1 Documents applicables

Est appelé « document applicable » un document devant être directement et impérativement appliqué au titre du présent document.

REP.	ÉMETTEUR	RÉFÉRENCE	TITRE
[A01]	Lycée La Pléiade	STI2D-TLE-C03	Cours 03 « Propulsion nucléaire navale »
[A02]	Lycée La Pléiade	STI2D-TLE-TP03-P1	TP 03 — partie 1 : devoir maison « Vérifier le cahier des charges »
[A03]	Lycée La Pléiade	STI2D-TLE-TP03-P2	TP 03 — partie 2 : atelier SolidWorks « La bride d'accouplement »
[A04]	Ministère de l'Éducation nationale	BO spécial n°1 du 22/01/2019	Programme d'ingénierie, innovation et développement durable (2I2D), annexe 1

► 3.2 Documents de référence

Est appelé « document de référence » un document pouvant être utilement consulté en complément de ce document.

REP.	ÉMETTEUR	RÉFÉRENCE	TITRE
[R01]	Ministère des Armées	Fiche LPM	Sous-marin nucléaire d'attaque Suffren — caractéristiques
[R02]	Ministère des Armées	Dossier de presse (2019)	Lancement du sous-marin nucléaire d'attaque Suffren
[R03]	AFNOR	NF EN 16271	Management par la valeur — Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel
[R04]	AFNOR	NF EN ISO 128 (série)	Documentation technique de produits — Principes généraux de représentation
[R05]	AFNOR	NF EN ISO 129-1	Documentation technique de produits — Représentation des cotes et tolérances
[R06]	AFNOR	NF EN 10083-3	Aciers pour trempe et revenu — Conditions techniques de livraison des aciers alliés
[R07]	BIPM	Brochure sur le SI	Le Système international d'unités

► 3.3 Données d'entrée de l'étude

REP.	ÉMETTEUR	OBJET
[DE01]	Lycée La Pléiade	Données techniques pédagogiques de la chaîne de propulsion (§ 7.2)
[DE02]	Lycée La Pléiade	Dessin de définition de la bride d'accouplement (§ 9.3)

§ 4

Abréviations

ACRONYME	DÉSIGNATION
BP / HP	Basse pression / haute pression (étages de la turbine)
C / NC / NA	Conforme / non conforme / non applicable
CDC	Cahier des charges
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
DGA	Direction générale de l'armement
GV	Générateur de vapeur
LPM	Loi de programmation militaire
MdCN	Missile de croisière naval
MEP	Moteur électrique de propulsion
REP	Réacteur à eau pressurisée
SNA / SNLE	Sous-marin nucléaire d'attaque / sous-marin nucléaire lanceur d'engins
STB	Spécification technique de besoin
TA	Turbo-alternateur (turbine à vapeur entraînant un alternateur)
U-235	Uranium 235 (isotope fissile de l'uranium)

§ 5

Définitions

TERME	DÉFINITION
Chaîne d'énergie	Ensemble des constituants qui alimentent, distribuent, convertissent et transmettent l'énergie jusqu'à l'effecteur.
Alimenter	Fournir l'énergie à la chaîne à partir d'une source (réserve, réseau, combustible).
Distribuer	Laisser passer, régler ou couper l'énergie sur ordre de la chaîne d'information.
Convertir	Changer la nature de l'énergie (par exemple : énergie thermique → énergie mécanique).
Transmettre	Transporter l'énergie mécanique en adaptant ses caractéristiques (vitesse, couple) sans changer sa nature.
Rendement η	Rapport entre la puissance utile en sortie et la puissance absorbée en entrée (sans unité, $\eta < 1$).
Nœud	Unité de vitesse de la marine : 1 nœud = 1 mille marin par heure = 1 852 m/h.
Exigence	Besoin formulé de manière vérifiable, caractérisé par un critère, un niveau et une flexibilité.
Flexibilité	Marge de négociation sur le niveau : F0 nulle (impératif), F1 faible, F2 bonne, F3 forte.
Source froide	Milieu qui reçoit la chaleur que la turbine ne peut pas transformer en travail : ici l'eau de mer du condenseur.

§ 6

Justification des conformités du système de propulsion

Le tableau ci-dessous reprend les exigences des spécifications techniques de besoin (STB) applicables au système de propulsion. Les colonnes **Justification**, **Renvoi** et **Conformité** sont complétées par l'élève au fur et à mesure du devoir maison (C : conforme, NC : non conforme, NA : non applicable).

TABLEAU DES EXIGENCES

DOC. SOURCE	N°	FORMULATION	CRITÈRE / NIVEAU	JUSTIFICATION	RENVOI	CONF.
STB PROP	EX001	Le SNA devra atteindre en plongée, en mode turbo-mécanique, une vitesse maximale d'au moins 25 nœuds.	Vitesse ≥ 25 nœuds — F0	Donnée du programme	§ 2.4	C
STB PROP	EX002	La pompe-hélice devra développer à 25 nœuds une poussée suffisante pour vaincre la résistance de l'eau.	Poussée ≥ 900 kN — F1		DM Q3.1	
STB PROP	EX003	La chaîne d'énergie du mode 1 (du réacteur à l'arbre d'hélice) devra présenter un rendement global suffisant.	$\eta_{\text{global}} \geq 25\%$ — F1		DM Q2.4	
STB GEN	EX004	Le rejet d'eau de mer du condenseur ne devra pas réchauffer excessivement le milieu marin.	Échauffement $\Delta T \leq 10^\circ\text{C}$ — F0		DM Q2.5	
STB PROP	EX005	En patrouille discrète (mode 2, 6 nœuds), la propulsion devra être assurée par le MEP, turbine principale à l'arrêt.	Puissance absorbée par le MEP ≤ 300 kW — F1		DM Q3.4	
STB PROP	EX006	Le courant appelé par le MEP en mode 2 devra rester compatible avec la section des câbles installés.	Intensité en ligne ≤ 250 A — F1		DM Q3.4	
STB GEN	EX007	En cas d'arrêt de la chaufferie, la batterie devra permettre de naviguer à 4 nœuds tout en assurant les besoins vitaux du bord.	Autonomie ≥ 6 h — F0		DM Q3.5	
STB PROP	EX008	Le cœur devra fonctionner sans rechargement en combustible pendant au moins dix ans.	Durée ≥ 10 ans — F0		DM Q3.6	
STB BRIDE	EX009	La bride d'accouplement devra transmettre le couple maximal de l'hélice avec un coefficient de sécurité de 1,5.	Couple transmissible $\geq 1,5 \times C_H$ — F0		DM Q3.3	
STB BRIDE	EX010	La bride devra pouvoir être manutentionnée avec le palan du compartiment (charge maximale 500 kg).	Masse ≤ 420 kg — F1		TP partie 2	

DOC. SOURCE	N°	FORMULATION	CRITÈRE / NIVEAU	JUSTIFICATION	RENVOI	CONF.
STB BRIDE	EX011	La bride sera réalisée en acier allié trempé et revenu.	34CrNiMo6 (NF EN 10083-3) — F0	Disposition constructive	§ 9.2	C
STB GEN	EX012	L'eau du circuit primaire devra rester à l'état liquide en tout point du circuit.	$T_s < T_{éb}$ — F0		DM Q1.6	
STB PROP	EX013	L'énergie de propulsion des modes 1 et 2 devra être produite sans consommer d'oxygène.	Aucune combustion — F0		DM Q1.5	

Flexibilité (NF EN 16271) : F0 = nulle (exigence impérative) · F1 = faible · F2 = bonne · F3 = forte.

§ 7

Hypothèses et données d'entrée

Ce chapitre présente les hypothèses spécifiques au système de propulsion. Les hypothèses communes au navire relèvent des documents du programme et ne sont pas reprises ici.

► 7.1 Données d'entrée pour le dimensionnement

7.1.1 Classification des équipements

La chaufferie nucléaire est un équipement important pour la sûreté : sa conception, sa fabrication et son exploitation relèvent de la sûreté nucléaire de défense. La ligne d'arbre et la bride d'accouplement sont des équipements importants pour la mission : leur défaillance immobiliserait le sous-marin.

7.1.2 Modes de fonctionnement

MODE	UTILISATION	CHEMIN DE L'ÉNERGIE
Mode 1 — turbo-mécanique	Transit rapide, poursuite (de 8 à 25 nœuds)	Réacteur → GV → turbine principale → réducteur → bride → ligne d'arbre → pompe-hélice
Mode 2 — électrique discret	Patrouille silencieuse jusqu'à 6 nœuds ; turbine principale et réducteur à l'arrêt, brides désaccouplées	Réacteur → GV → turbo-alternateurs → tableau → variateur → MEP → ligne d'arbre → pompe-hélice
Mode 3 — secours	Chaufferie arrêtée (avarie, maintenance) : navigation à 4 nœuds	Batterie (ou groupe diesel au schnorchel) → tableau → variateur → MEP → ligne d'arbre → pompe-hélice

7.1.3 Durée de vie

Durée de vie du cœur entre deux rechargements : **10 ans** (exigence EX008). La bride d'accouplement est dimensionnée pour la durée de service du navire ; elle est contrôlée à chaque arrêt technique.

7.1.4 Conditions d'environnement

La source froide du cycle est l'eau de mer. En Méditerranée, au large de Toulon, sa température varie d'environ 13 °C en hiver à 25 °C en été. Le sous-marin évolue en plongée jusqu'à plus de 350 m : les traversées de coque de la ligne d'arbre et des circuits d'eau de mer doivent rester étanches sous la pression extérieure.

7.1.5 Chocs

Les équipements embarqués sont qualifiés aux chocs (explosions sous-marines). Cette vérification n'est pas traitée dans le TP.

7.1.6 Manutention

Les pièces démontables du compartiment propulsion sont manutentionnées par un palan d'une charge maximale de 500 kg ; une marge est conservée pour les élingues et accessoires de levage (exigence EX010).

7.1.7 Architecture de la chaîne d'énergie

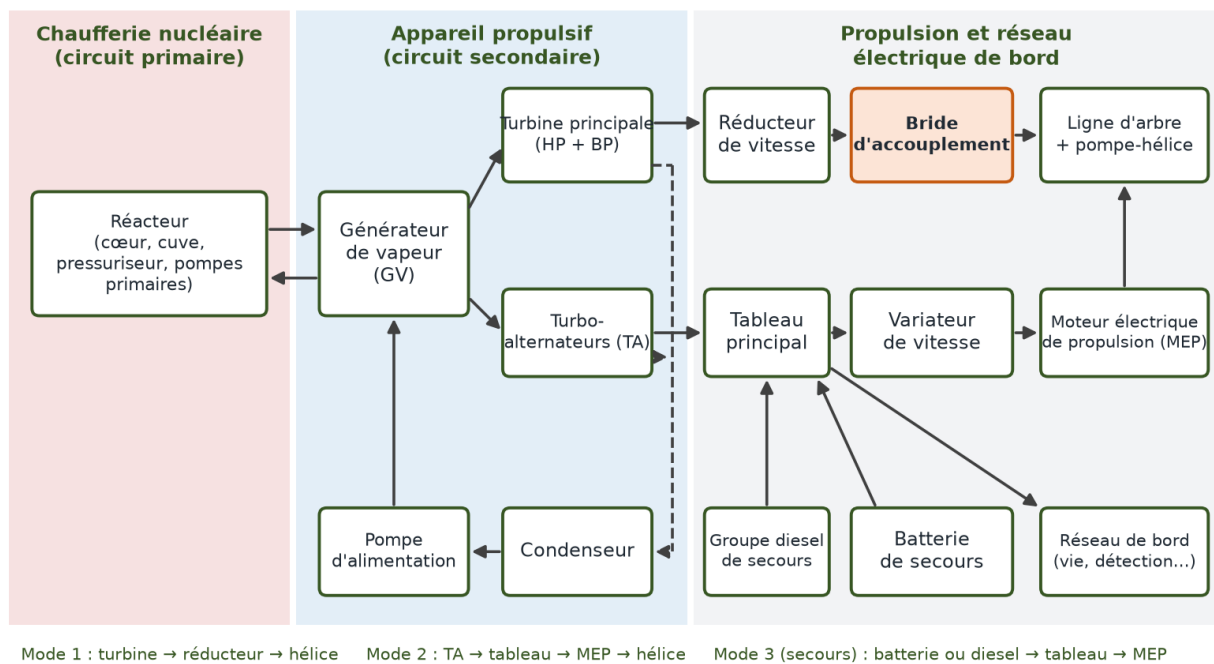


Fig. 2 Architecture simplifiée du système de propulsion. La bride d'accouplement (en orange) est la pièce à concevoir.

CONSTITUANT	RÔLE DANS LE SYSTÈME
Réacteur (cœur, cuve)	La fission des noyaux d'U-235 libère de la chaleur, transmise à l'eau du circuit primaire.
Pressuriseur	Maintient l'eau du circuit primaire à 150 bar pour qu'elle reste liquide à plus de 300 °C.
Pompes primaires	Font circuler l'eau du circuit primaire entre le cœur et le générateur de vapeur.
Générateur de vapeur	Échangeur : l'eau primaire cède sa chaleur à l'eau secondaire, qui se vaporise. Les deux eaux ne se mélangent pas.
Vanne d'admission	Règle le débit de vapeur envoyé à la turbine, donc la vitesse du sous-marin.
Turbine principale	La vapeur se détend dans les étages HP puis BP et fait tourner l'arbre de la turbine.
Réducteur de vitesse	Train d'engrenages : réduit la fréquence de rotation (6 000 → 200 tr/min) et augmente le couple.
Bride d'accouplement	Relie en rotation l'arbre de sortie du réducteur à la ligne d'arbre par 10 vis ajustées.
Ligne d'arbre et butée	Transmettent la rotation à la pompe-hélice ; la butée transmet la poussée à la coque.
Pompe-hélice	Met l'eau en mouvement vers l'arrière ; par réaction, le sous-marin avance.
Condenseur	Refroidit la vapeur sortant des turbines par de l'eau de mer : la vapeur redevient liquide.
Pompe d'alimentation	Renvoie l'eau condensée vers le générateur de vapeur.
Turbo-alternateurs	Turbines à vapeur entraînant des alternateurs : production de l'électricité de bord.
Tableau principal	Répartit l'énergie électrique entre les utilisateurs (disjoncteurs, jeux de barres).
Variateur de vitesse	Règle la tension et la fréquence envoyées au MEP, donc sa vitesse.
MEP	Moteur électrique monté sur la ligne d'arbre, utilisé en modes 2 et 3.

CONSTITUANT	RÔLE DANS LE SYSTÈME
Batterie, groupe diesel	Sources d'énergie de secours lorsque la chaufferie est arrêtée.

7.1.8 Puissance nécessaire en fonction de la vitesse

En plongée, la puissance nécessaire sur l'arbre d'hélice suit, en bonne approximation, une loi en cube de la vitesse :

FORMULE Loi de puissance propulsive

$$P_{\text{hélice}}(v) = P_{\text{hélice,max}} \times \left(\frac{v}{v_{\text{max}}}\right)^3$$

$P_{\text{hélice}}(v)$: puissance nécessaire sur l'arbre d'hélice à la vitesse v

$P_{\text{hélice,max}}$: puissance sur l'arbre d'hélice à la vitesse maximale (mode 1)

v : vitesse étudiée, en nœuds

v_{max} : vitesse maximale, $v_{\text{max}} = 25$ nœuds

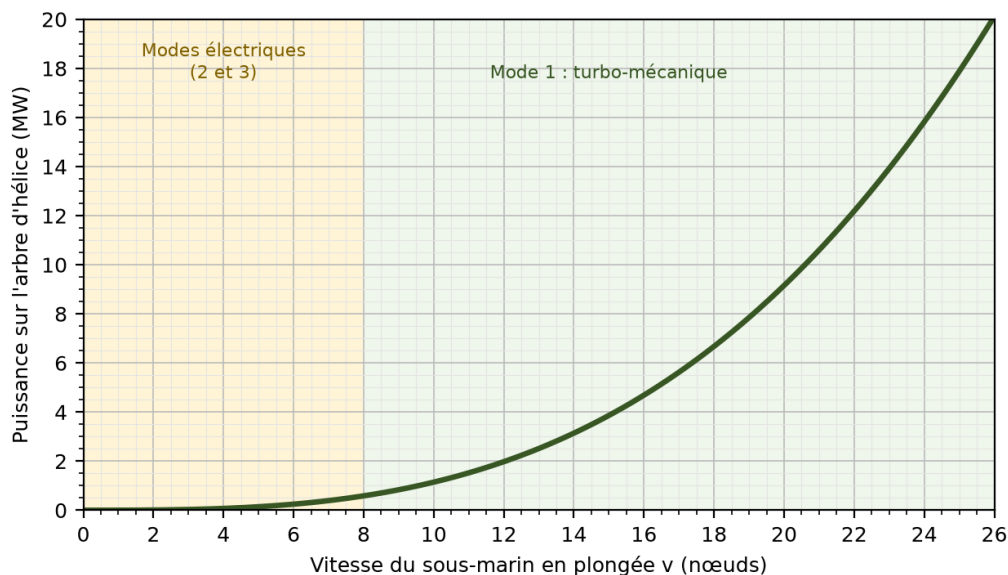


Fig. 3 Puissance sur l'arbre d'hélice en fonction de la vitesse en plongée (données pédagogiques).

► 7.2 Hypothèses : données techniques pédagogiques

7.2.1 Chaufferie et circuit primaire

GRANDEUR	SYMBOLE	VALEUR
Puissance thermique du réacteur à 25 nœuds (régime partiel)	P_{th}	60 MW
Pression de l'eau du circuit primaire	p_1	150 bar
Température de l'eau à l'entrée / à la sortie de la cuve	T_e / T_s	285 °C / 315 °C
Température d'ébullition de l'eau sous 150 bar	$T_{\text{éb}}$	342 °C
Capacité thermique massique de l'eau primaire (300 °C, 150 bar)	c_1	5 400 J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹
Puissance thermique moyenne sur la durée de vie du cœur	P_{moy}	20 MW
Masse d'U-235 pouvant être fissionnée dans le cœur	m_U	90 kg
Énergie libérée par la fission de 1 g d'U-235	e_U	8,2 × 10 ¹⁰ J
Pouvoir calorifique du gazole (comparaison)	PCI	42,6 MJ/kg

7.2.2 Circuit secondaire et appareil propulsif (mode 1, 25 nœuds)

GRANDEUR	SYMBOLE	VALEUR
Rendement du générateur de vapeur	η_{GV}	0,97
Rendement de la turbine (chaleur de la vapeur → énergie mécanique)	η_T	0,32
Fréquence de rotation de la turbine principale	N_T	6 000 tr/min
Rendement du réducteur de vitesse	η_R	0,97
Rendement de la ligne d'arbre (paliers et butée)	η_L	0,99
Fréquence de rotation de la pompe-hélice à 25 nœuds	N_H	200 tr/min
Rendement propulsif (puissance de poussée / puissance sur l'arbre)	η_H	0,70
Débit massique d'eau de mer dans le condenseur	q_m	1 200 kg/s
Capacité thermique massique de l'eau de mer	c_{mer}	4 000 J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹

Hypothèse : en mode 1, la puissance prélevée par les turbo-alternateurs pour le bord est négligée.

7.2.3 Propulsion électrique et secours (modes 2 et 3)

GRANDEUR	SYMBOLE	VALEUR
Rendement du variateur de vitesse	η_v	0,97
Rendement du moteur électrique de propulsion	η_{MEP}	0,95
Alimentation du MEP : tension composée (triphase) / facteur de puissance	$U / \cos \varphi$	690 V / 0,90
Batterie de secours : tension / capacité	U_{bat} / Q	500 V / 4 000 A·h
Part de la capacité de la batterie réellement utilisable	—	80 %
Besoins vitaux du bord en secours (ventilation, éclairage, instruments)	P_{vie}	120 kW

Hypothèse : en mode 3, les pertes du tableau principal sont négligées ; la batterie alimente le variateur et les besoins vitaux.

§ 8

Application du calcul

► 8.1 Méthodologie

Méthode retenue : la vérification repose sur un **bilan de puissance de proche en proche**. En partant de la puissance thermique du réacteur, on calcule la puissance disponible à la sortie de chaque constituant à l'aide de son rendement, jusqu'à l'arbre d'hélice. Les pertes de chaque constituant sont égales à la différence entre la puissance absorbée et la puissance utile ; elles sont représentées sur un diagramme de Sankey.

Objectif projeté : chaque grandeur calculée est comparée au niveau fixé par l'exigence correspondante (§ 6). L'exigence est déclarée conforme si la valeur calculée respecte le niveau, compte tenu de la flexibilité.

► 8.2 Démarche

- Analyse du cahier des charges : besoin, exigences, critères, niveaux et flexibilités.
- Identification des fonctions de la chaîne d'énergie et des formes d'énergie échangées.
- Bilan de puissance du mode 1 : puissances, pertes, rendement global, diagramme de Sankey.
- Vérification des performances mécaniques : poussée, rapport de réduction, couples, effort sur les vis de la bride.
- Vérification des modes 2 et 3 : puissance à faible vitesse, courant absorbé, autonomie de la batterie.
- Vérification de l'autonomie du cœur et comparaison avec un combustible fossile.
- Synthèse : renseignement du tableau de justification des conformités (§ 6).

► 8.3 Formulaire

NOTION	FORMULE	UNITÉS
Vitesse angulaire	$\omega = \frac{2\pi \times N}{60}$	ω en rad/s N en tr/min
Puissance mécanique en rotation	$P = C \times \omega$	P en W C en N·m ω en rad/s
Puissance mécanique en translation	$P = F \times v$	P en W F en N v en m/s
Rendement	$\eta = \frac{P_u}{P_a}$	η sans unité P_u en W P_a en W
Pertes	$\text{pertes} = P_a - P_u$	pertes en W
Rendement global	$\eta_g = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \dots$	η_g sans unité
Rapport de réduction	$r = \frac{N_{\text{sortie}}}{N_{\text{entrée}}}$	r sans unité N en tr/min
Couple et effort tangentiel	$C = F \times R$	C en N·m F en N R en m

NOTION	FORMULE	UNITÉS
Puissance électrique en triphasé	$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$	P en W U en V I en A cos φ sans unité
Énergie d'une batterie	$E = U \times Q$	E en W·h U en V Q en A·h
Énergie et puissance	$E = P \times t$	E en J si P en W et t en s E en W·h si P en W et t en h
Puissance thermique d'un fluide	$P = q_m \times c \times \Delta T$	P en W q_m en kg/s c en J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹ ΔT en °C
Loi de puissance propulsive	$P(v) = P_{\max} \times \left(\frac{v}{v_{\max}}\right)^3$	P(v) dans l'unité de $P_{\max}$ v dans l'unité de $v_{\max}$
Conversion de vitesse	$v_{(m/s)} = \frac{v_{(nœuds)} \times 1\,852}{3\,600}$	1 nœud = 1 852 m/h

► 8.4 Calculs à mener

Les calculs sont réalisés dans la partie 1 du TP (devoir maison, document [A02]). Les résultats sont reportés dans le tableau du § 6.

§ 9

Conclusion

► 9.1 Préambule

Le système de propulsion du SNA type Suffren associe une chaufferie nucléaire à eau pressurisée, un appareil propulsif à vapeur et une propulsion électrique. Cette architecture hybride permet de combiner vitesse (mode 1), discrétion (mode 2) et sécurité (mode 3). La conformité de chaque exigence est établie par l'élève dans le devoir maison.

► 9.2 Dispositions constructives de la bride d'accouplement

Deux brides identiques, boulonnées face contre face, relient l'arbre de sortie du réducteur à la ligne d'arbre. Chaque bride est clavetée sur son arbre. Le couple passe d'une bride à l'autre par **10 vis ajustées** réparties sur un cercle de diamètre 620 mm. En modes 2 et 3, les brides sont désaccouplées : la turbine et le réducteur, sources de bruit, restent à l'arrêt.

La ligne d'arbre transmet la rotation jusqu'à la pompe-hélice ; la butée transmet la poussée à la coque.

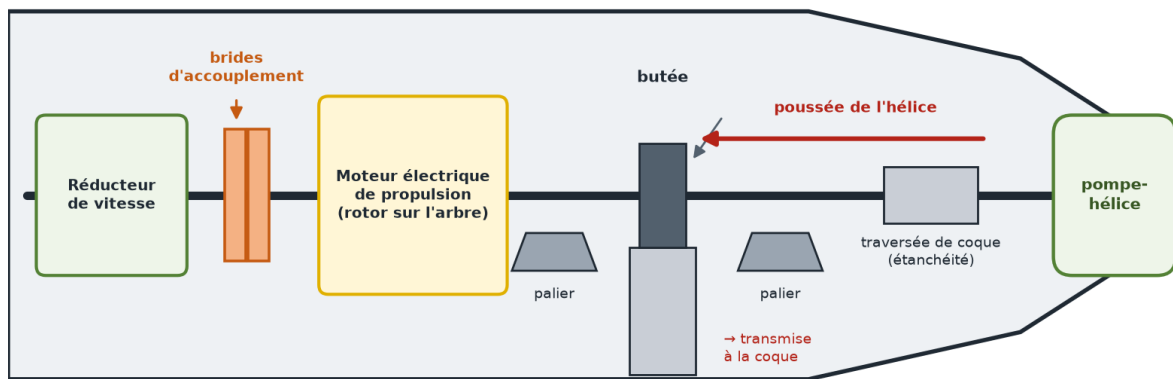


Fig. 4 Implantation des brides d'accouplement sur la ligne d'arbre.

CARACTÉRISTIQUE	VALEUR
Matériau	Acier allié 34CrNiMo6, trempé et revenu (NF EN 10083-3) — masse volumique 7 850 kg/m ³
Plateau	Ø 760 mm, épaisseur 90 mm, chanfreins 5 × 45° sur les deux arêtes extérieures
Moyeu	Ø 440 mm, longueur totale de la pièce 320 mm, chanfrein 5 × 45° en bout, congé R15 au raccordement
Alésage	Ø 300 H7 traversant
Rainure de clavette	Largeur 70 mm, traversante ; cote 315 mm mesurée depuis la génératrice opposée de l'alésage
Trous de fixation	10 trous Ø 45 mm traversant le plateau, équirépartis sur un cercle Ø 620 mm
Couple transmissible garanti	1 300 kN·m (donnée du fabricant des vis ajustées)
Masse maximale	420 kg (exigence EX010)

► 9.3 Plan de la bride

Bride d'accouplement de ligne d'arbre — dessin de définition (cotes en mm, échelle réduite)

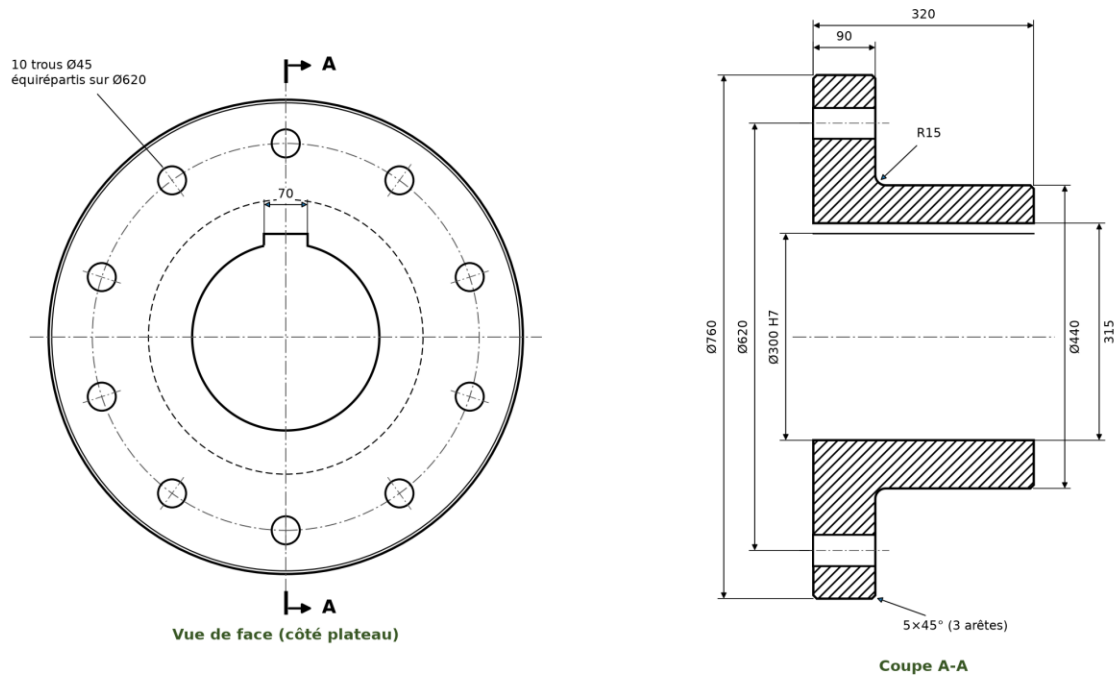


Fig. 5 Dessin de définition de la bride d'accouplement : vue de face et coupe A-A (cotes en mm).

► 9.4 Livrables attendus

DOCUMENT	LIVRABLE	NOTATION
[A02] Partie 1 — devoir maison	Sujet complété (calculs rédigés : relation littérale, application numérique, résultat avec unité) et tableau de justification des conformités	/ 20
[A03] Partie 2 — SolidWorks	NOM_Prenom_Bride.SLDPRT, NOM_Prenom_Bride.SLDDRW et feuille de mission complétée	/ 20
Total		/ 40